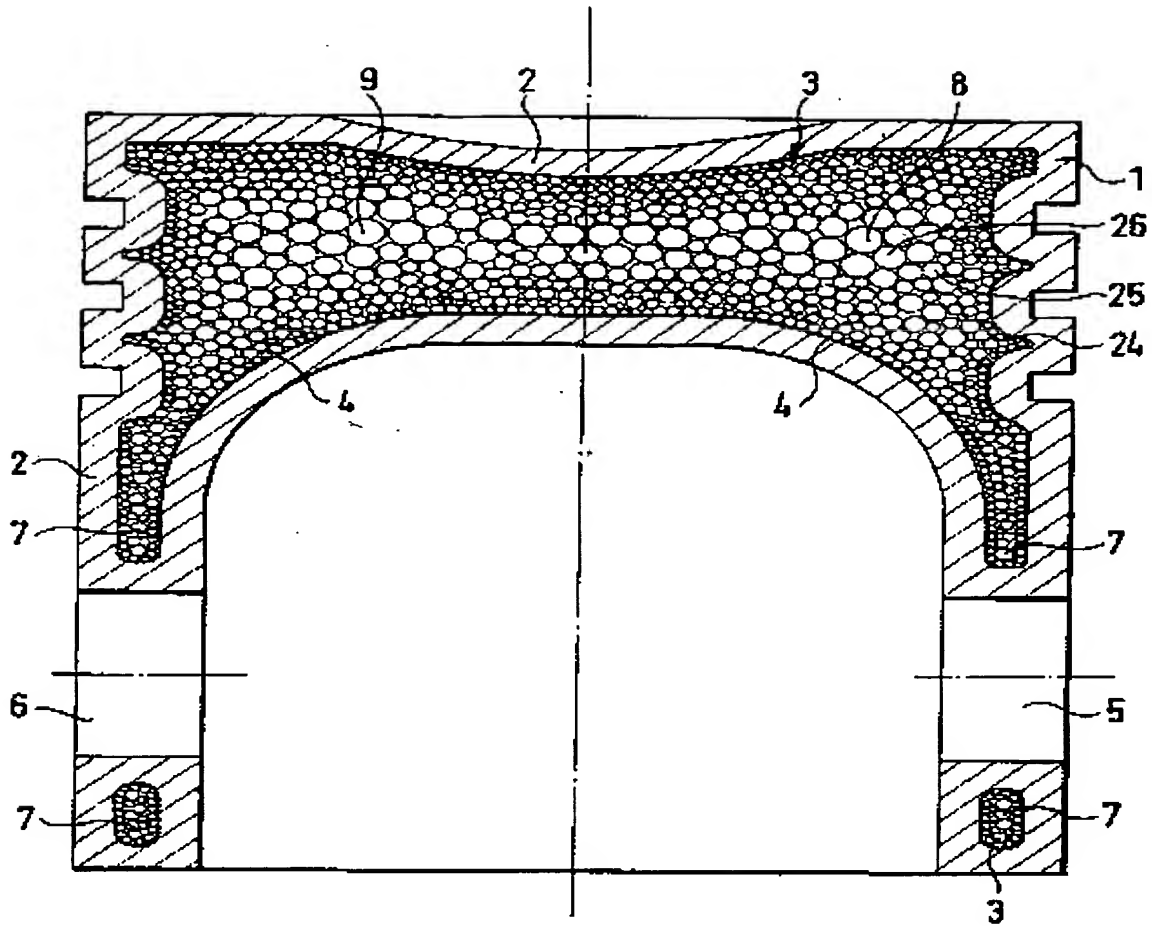


AN: PAT 1995-186574  
TI: Metal or ceramic component with a dense outer shell and a porous core comprising core made up of hollow sintered spheres whose size increases towards core centre  
PN: **DE4338457-A1**  
PD: 18.05.1995  
AB: The metal or ceramic component (1) with a dense outer shell (2) and a porous core (3) is characterised by the fact that the outer shell consists of densely sintered powder, while the core (for purposes of sustaining high surface pressures) is made up of sintered hollow spheres arranged in layers and forming hollow spherical or polygonal spaces whose size increases towards the core centre. Slips are prepd. with water or alcohol and/or bonding agents: powders with different particle size and hollow spheres (24, 25, 26) with different diameters are used. The component shell is formed by slips made with powders, with the outer skin is formed by slips with the smallest particle size. The core is formed by layered slips with hollow spheres. Solvents and bonding agents are burned out and the component is sintered.; USE - As machine elements (gears, rotor discs, valves etc). ADVANTAGE - Components sustain high applied surface pressures.  
PA: (MOTU ) MTU MUENCHEN GMBH;  
IN: ROSSMANN A; SMARSLY W;  
FA: **DE4338457-A1** 18.05.1995; **DE4338457-C2** 03.09.1998; FR2712218-A1 19.05.1995; GB2284825-A 21.06.1995; GB2284825-B 09.04.1997; US5634189-A 27.05.1997;  
CO: DE; FR; GB; US;  
IC: B22F-003/22; B22F-005/02; B22F-005/04; B22F-005/10; B22F-007/02; B28B-001/20; B28B-001/52;  
MC: L02-F; M22-H03F;  
DC: L02; M22; P53;  
FN: 1995186574.gif  
PR: **DE4338457** 11.11.1993;  
FP: 18.05.1995  
UP: 03.09.1998

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 38 457 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 22 F 7/02**  
B 22 F 3/22

②1 Aktenzeichen: P 43 38 457.9  
②2 Anmeldetag: 11. 11. 93  
④3 Offenlegungstag: 18. 5. 95

DE 43 38 457 A 1

⑦1 Anmelder:

MTU Motoren- und Turbinen-Union München GmbH,  
80995 München, DE

⑦2 Erfinder:

Rossmann, Axel, 85757 Karlsfeld, DE; Smarsly,  
Wilfried, Dr., 85630 Grasbrunn, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Bauteil aus Metall oder Keramik mit dichter Außenschale und porösem Kern und Herstellungsverfahren

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Bauteil aus Metall oder Keramik mit dichter Außenschale und porösem Kern, wobei die Außenschale aus dichtgesintertem Pulvermaterial besteht und der Kern zur Aufnahme hoher Flächenpressungen der Außenschale gesinterten Hohlkugeln aufweist, die lagenweise geschichtet sind und zum Kernzentrum hin größer werdende kugelige oder polygonale Hohlräume ausbilden. Ferner wird ein Verfahren zur Herstellung derartiger Bauteile angegeben.

DE 43 38 457 A 1

Die Erfindung betrifft ein Bauteil aus Metall oder Keramik mit dichter Außenschale und porösem Kern und ein Herstellungsverfahren des Bauteils.

Bauteile mit dichter Außenschale und porösem Kern sind aus der Kunststoffherstellung bekannt, wobei eine dichte Außenhaut durch Erhitzen der Oberfläche einer geschäumten Kunststoffmasse erzeugt wird.

Für metallische oder keramische Bauteile werden Kernporositäten nur dadurch erreicht, daß beispielsweise beim Sintern mit unterschiedlichen Vollpartikelgrößen gearbeitet wird oder daß Schaummetalle in eine dichte Außenschale eingebracht werden. Das hat den Nachteil, daß die Variation der Porosität und die Anpassung der Porosität an festigkeitsbedingte und konstruktive Forderungen äußerst begrenzt ist. So ist es bisher nicht möglich, ein mechanisch hochbeanspruchtes Bauteil für hohe Flächenpressungen auf eine dünnwandige Außenschale mit hoher Porosität des Kerns zu realisieren.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein gattungsgemäßes Bauteil und ein Verfahren zu seiner Herstellung anzugeben, das eine Struktur aufweist, die eine dichte feste dünnwandige Außenschale zur Aufnahme hoher Spannungen und Flächenpressungen und einen geschlossen porösen Kern zur Aussteifung ausbilden soll.

Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch, daß die Außenschale aus dichtgesintertem Pulvermaterial besteht und der Kern zur Aufnahme hoher Flächenpressungen der Außenschale gesinterte Hohlkugeln aufweist, die lagenweise geschichtet sind und zum Kernzentrum hin größer werdende kugelige oder polygonale Hohlräume ausbilden.

Dabei kann eine Lage falls erforderlich nur aus einer Monolage von Hohlkugeln gleichen Durchmessers bestehen und der Durchmesser zum Kerninnern hin stufenweise derart zunehmen, daß ein gradueller Übergang von einer dichten Außenschale zu einer großen Porigkeit im Innern des porösen Kerns entsteht mit dem Vorteil, daß eine hohe Aussteifung der dünnwandigen Außenschale bei gleichzeitig minimalem Gewicht entsteht, was besonders vorteilhaft für Bauteile im Triebwerksbau wie Triebwerksschaufeln und im Motorenbau wie Verdichterkolben ist. Besonders die Flächenpressung die auf den Deckel eines Verdichterkolbens während der Verbrennung einwirkt, kann mit einer derartigen Bauteilstruktur von einer relativ dünnwandigen Außenschale problemlos aufgenommen werden. Flächenpressungsspitzen, wie sie in den Bohrungen für den Kolbenbolzen auftreten, können durch entsprechende Lagenanordnung und Auswahl der Hohlkugeldurchmesser des Kerns aufgenommen werden.

Deshalb weisen enge Kernquerschnitte vorzugsweise kleinere Hohlräume als weite Kernquerschnitte auf. Die Größe der Hohlräume wird durch den Innendurchmesser der gesinterten Hohlkugeln festgelegt. Zu einer Bildung polygonaler Hohlräume kommt es, wenn beim Sintern oder nach dem Sintern der Außenschale mit eingeschlossenen Hohlkugeln das Bauteil heißisostatisch gepreßt wird.

Überwiegend kugelige Hohlräume bleiben erhalten, wenn vorzugsweise die Hohlräume zwischen den Hohlkugeln mit Material aufgefüllt sind, wobei dieses Material aus Pulverpartikeln von gleicher chemischer Zusammensetzung wie das Hohlkugelmateriale sein kann. Nach dem Sintern sind dann die Hohlräume zwischen den Hohlkugeln vorzugsweise mit gesintertem Material

gefüllt.

Bei einer bevorzugten Ausbildung der Erfindung wird vor dem Sintern neben sinterfähigem Pulver auch Fasermaterial zwischen den Hohlkugellagen eingelegt. Das hat den Vorteil, daß die mechanische Festigkeit des Kerns besonders für Zugbelastungen erhöht wird. Da Rotorschaukeln in Triebwerken erhöhten Zugbelastungen ausgesetzt sind, wird das Fasermaterial vorzugsweise für derartigen Anwendungen in die Hohlräume zwischen den Hohlkugeln eingebracht und teilweise oder vollständig von Matrixmaterial umgeben.

Vorzugsweise sind das Pulvermaterial der Außenschale und falls erforderlich das Pulvermaterial zwischen den Hohlkugeln und die Hohlkugeln selbst aus Metall oder Metallegierungen. Hierzu werden vorzugsweise die Metallegierungen eingesetzt, die schwierig zu bearbeiten sind, wie hochlegierte Stähle, Kobalt-, Titan- oder Nickelbasislegierungen.

In einer weiteren bevorzugten Ausbildung der Erfindung bestehen das Pulvermaterial und die Hohlkugeln aus intermetallischen Verbindungen. Bauteile aus diesen Legierungen zeichnen sich durch ihre Härte und durch ihre Korrosionsfestigkeit aus, sind aber mechanisch und elektrochemisch schwierig bearbeitbar. Deshalb erweist sich die erfindungsgemäße Bauteilstruktur für diese Materialien als besonders vorteilhaft geeignet.

In weit höherem Maße treffen diese Vorteile auf Bauteile zu, bei denen das Pulvermaterial und die Hohlkugeln aus Keramik sind.

Bei dem erfindungsgemäßen Bauteil kann die Materialdichte vorzugsweise von der Außenschale zum Zentrum des Kerns hin von nahezu 100% auf bis zu 3% abnehmen und die Porosität entsprechend von annähernd 0% auf bis zu 97% anwachsen. Derartige Werte sind bei bisherigen Bauteilen unerreicht. Mit dieser hohen einstellbaren Zunahme der Porosität lassen sich hochfeste Bauteile bei gleichzeitig minimalem Gewicht konzipieren. Dazu weisen die Hohlkugeln im Kern einen von außen nach innen anwachsenden Innendurchmesser auf, der zwischen 0,01 und 10 mm liegt. Ein Bereich zwischen 0,3 bis 5 mm wird dann eingesetzt, wenn größere Übergänge zwischen den Hohlkugellagen zulässig sind und wenn insbesondere die Hohlräume zwischen den Hohlkugeln durch Fasermaterial und/oder Sinterpulver aufgefüllt sind.

Die Aufgabe ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus Metall oder Keramik mit dichter, geschlossener Außenschale und porösem Kern anzugeben wird durch die folgenden Verfahrensschritte erreicht:

- a) Herstellen von Schlickern mit Wasser oder Alkohol und/oder Bindern in unterschiedlichen Ansätzen sowohl mit Vollpulvern unterschiedlicher Partikelgröße als auch mit Hohlkugeln unterschiedlichen Durchmessers,
- b) Erzeugen einer Außenschale als Erstsicht mit hochsinterfähigem Vollpulver in einer Schlickerform, wobei vorzugsweise Schlicker mit geringer Partikelgröße zur Ausbildung einer feinporigen Außenhaut und nach innen Schlickerschichten mit zunehmender Partikelgröße zur Ausbildung der Außenschale eingesetzt werden,
- c) Erzeugen eines porösen Kerns mittels Schlickern aus Hohlkugeln, wobei weitere Schichten lagenweise aus Hohlkugel-Schlickern mit zunehmendem Kugeldurchmesser von innen auf die Außenschale aufgebracht werden,
- d) Ausbrennen von Lösungsmitteln und Bindern

und Sintern der Schlickerschichten ganz oder teilweise in der Schlickerform zu einem Bauteil.

Nach dem Erstellen der unterschiedlichen Schlickeransätze, werden diese getrennt bis zum Einsatz für eine der zu bildenden Lagen aufbewahrt. Die Schlickeransätze werden dabei als Gießmasse zum Eingießen in eine Form, als streichfähige beispielsweise lufttrocknende Masse zum Aufspritzen oder Aufstreichen auf eine formgebende Oberfläche oder als Spachtelmasse zum Auftragen auf eine formgebende Oberfläche hergestellt. Die Schlickerform, in der sich die unterschiedlichen Schlicker absetzen oder die formgebende Oberfläche, auf der bei pastenartigen oder lackartigen Schlickeransätzen die Schlicker mittels Spachteln oder Streichen aufgetragen werden, wird stufen- oder lagenweise erweitert, während sich die Schlickerzusammensetzung von Stufe zu Stufe oder von Lage zu Lage ändert.

In einer bevorzugten Durchführung des Verfahrens werden unterschiedliche Schlickeransätze für die Außenschale aus Vollpartikeln und den porösen Kern aus Hohlkugeln nacheinander in eine Schlickerform über eine Eingußöffnung eingegossen. Nach Anlegen einer Schlickerschicht an die inneren Oberflächen der Form werden die Reste der unterschiedlichen Schlickeransätze über die Eingußöffnung ausgebracht. Abschließend wird die Eingießöffnung mit einer Folge von unterschiedlichen Schlickergußlagen verschlossen. Das hat den Vorteil, daß auf einfachste Weise Bauteile mit komplexen Strukturen und dem erfindungsgemäßen Außenschalen- und Kernaufbau hergestellt werden können. Bei Bauteilen wie Turbinenschaufeln, wie in Fig. 2 gezeigt, kann sogar ein Verschließen der Eingußöffnung unterbleiben, wenn die Schaufelspitze als Eingußöffnung ausgebildet wird.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführung des Verfahrens wird die Außenschale eines hohlen Bauteils in zwei getrennten Schritten und aus zwei Hälften, einer inneren und einer äußeren Außenschale bestehend hergestellt. Dazu wird zunächst die innere Außenschale als Erstsicht mit hochsinterfähigem Vollpulver in einer Schlickerform abgesetzt, wobei vorzugsweise Schlicker mit geringer Partikelgröße zur Ausbildung einer feinporigen Außenhaut und nach innen Schlickerschichten mit zunehmender Partikelgröße zur Ausbildung der inneren Außenschale eingesetzt werden. Anschließend wird ein poröser Kern aus Hohlkugeln erzeugt, wobei weitere Schichten lagenweise aus Hohlkugel-Schlickern mit zunächst zunehmendem und anschließend abnehmendem Kugeldurchmesser auf die innere Außenschale ausgebracht werden. Abschließend wird eine äußere Außenschale des Bauteils, das vorzugsweise Hohlräume aufweist, mittels hochsinterfähigem Vollpulver erzeugt) wobei vorzugsweise Schlicker mit geringer Partikelgröße zur Ausbildung einer porenfreien Außenhaut und nach innen Schlickerschichten mit zunehmender Partikelgröße zur Ausbildung der äußeren Außenschale mit nach innen zunehmender Porengröße eingesetzt werden.

Diese Verfahrensvariante hat den Vorteil, daß sie besonders für hohle Bauteile wie Zylinder, Töpfe, Gehäuse, Kolben u. a. nutzbringend einsetzbar ist.

Für eine weitere bevorzugte Durchführung des Verfahrens werden die Schlickeransätze als Gießmassen zum Eingießen in eine Schleudergußform hergestellt. Anschließend werden die unterschiedlichen Schlickerlagen für eine äußere Außenschale, einen porösen Kern aus Hohlkugeln und eine innere Außenschale durch

Schleuderguß in einer Schleudergußvorrichtung ausgebracht, was vorteilhaft eine sehr genaue Abstufung in der Reihenfolge der aufzubringenden Schichten ermöglicht.

Bei weiteren bevorzugten Durchführungen des Verfahrens werden Schlickeransätze als spritzfähige, streichfähige oder spachtelfähige Massen hergestellt. Anschließend werden unterschiedliche Schlickerlagen für eine innere Außenschale, einen porösen Kern aus Hohlkugeln und eine äußere Außenschale auf eine formgebende Oberfläche mittels Streichen, Spritzen oder Spachteln ausgebracht. Dieses ermöglicht vorteilhaft, erfindungsgemäße Bauteile auf einer komplexen Oberfläche herzustellen.

Bei der Herstellung von Bauteilen mit Hohlräumen und erfindungsgemäßer Struktur wird zunächst auf eine Grundform oder Innenform ein Schlicker mit Feinpulver für eine dichte innere Außenschale eines Bauteils aufgetragen und der mittlere Pulverdurchmesser von Lage zu Lage gesteigert. Danach wird zu Hohlkugelschlickern übergegangen und ebenfalls von Lage zu Lage der Hohlkugeldurchmesser erhöht bis das Kernzentrum des porösen Kerns aufgebaut ist. Danach wird in ähnlicher Weise zunächst der Hohlkugeldurchmesser von Schlickerlage zu Schlickerlage reduziert und abschließend werden die Vollpartikellagen mit abnehmendem mittleren Partikeldurchmesser aufgebracht, so daß eine äußere Außenschale das Bauteil abschließt, wobei die Schlickerform mit der feinsten Pulverstufe ihre Endform erreicht.

Zwischen dem Einbringen jeder Schlickerlage erfolgt vorzugsweise ein Ausgasen von Lösungsmitteln, so daß vorteilhaft mit der letzten äußeren Schlickerlage ein Grünling fertiggestellt ist, der mit oder ohne eine Stützung durch die Schlickerform oder formgebende Oberfläche einem Ausbrennen von Bindern und/oder einem Sinterprozeß zugeführt werden kann.

Vorzugsweise wird der Sinterschritt in einer Presse unter Druck bei Erweichungstemperatur der Hohlkugeln zur Ausbildung von polygonen Hohlräumen oder Poren vorgenommen. Dadurch entsteht vorteilhaft ein mit systematisch angeordneten geschlossenen Poren ausgestattetes Leichtbauteil, das höchsten Flächenbelastungen ausgesetzt werden kann, da das Material zwischen den Poren äußerst dicht gesintert ist und aufgrund der graduellen Zunahme des Porenvolumens zum Zentrum des Kernmaterials des Bauteils hin eine Aussteifung erfährt, die mit herkömmlichen Strukturen aus Vollmaterial nicht erreichbar ist.

Das Ausbrennen von Bindern und/oder der Sinterschritt können vorzugsweise auch unmittelbar nach jedem Einbringen einer Schlickerlage erfolgen. In diesem Fall nimmt zwar die Anzahl der Ausbrenn- und/oder Sinterschritte erheblich zu, andererseits wird jedoch eine äußerst präzise gestaltete innere Struktur des Kerns bzw. des Bauteils erreicht.

Die aus Vollpartikelmaterial hergestellte, gesinterte Außenschale des Bauteils kann vorzugsweise durch Infiltration oder Aufbringen und Eindiffusion von Sintermaterial nachverdichtet werden, falls eine hohe Festigkeit gegen Mikrorisse, Korrosion und Erosion erreicht werden soll.

In einer bevorzugten Durchführung des Verfahrens bestehen die Partikel und Hohlkugeln in den Schlickeransätzen teilweise aus metallischen Komponenten intermetallischer Verbindungen. Dabei wird ein stöchiometrisches Verhältnis zwischen den metallischen Komponenten dadurch hergestellt, daß entsprechende Ge-

wichtsverhältnisse bei der Zusammensetzung der Kugeln und der Pulverteilchen eingehalten werden. Beim anschließenden Sinterschritt wird dann die Reaktionstemperatur zur Ausbildung intermetallischer Verbindungen gefahren, so daß vorteilhaft das gesamte Bauteil nach dem Sinterprozeß aus einer intermetallischen Verbindung besteht, was aufgrund der Härte und Sprödigkeit von intermetallischen Verbindungen mit Schmieden und spanabhebender Bearbeitung nicht realisiert werden kann.

Dauer und Temperatur des Sinterschritts müssen dem sinterfähigen Material der Vollpartikel und Hohlkugeln des Schlickergusses angepaßt sein. Bei einem vorzugsweisen Materialwechsel zwischen den einzelnen Schlickerlagen kann es deshalb erforderlich werden, daß einerseits bereits nach Einbringen jeder Schlickerlage ausgebrannt und/oder gesintert werden muß und darüber hinaus jeder Brenn- und/oder Sinterschritt bei unterschiedlich angepaßten Temperaturen für entsprechend angepaßte Zeitspannen durchzuführen ist.

Ein besonders bevorzugtes Verfahren beim Sintern ist ein heißisostatisches Pressen. Hierzu wird das Bauteil als Grünling oder in seiner Schlickerform eingekapselt, bevor es den hohen Drücken einer Isostatpresse ausgesetzt wird. Bei diesem heißisostatischen Pressen verformen sich die Hohlkugeln zu polygonalen Strukturen, wobei die Hohlkugelhänge zu einem dichten massiven Gerüst zusammensintern.

Die folgenden Figuren sind Ausführungsbeispiele der Erfindung.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch einen Kolben eines Verbrennungsmotors.

Fig. 2a zeigt einen Abschnitt einer Turbinenschaufel eines Triebwerks.

Fig. 2b zeigt eine Turbinenschaufel.

Fig. 3 bis 5 zeigen prinzipielle Verfahrensschritte zur Herstellung von Bauteilen nach Fig. 1 oder Fig. 2.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch einen Kolben 1 eines Verbrennungsmotors. Dieser Kolben 1 besteht aus einer Metalllegierung. Er weist eine dichte Außenschale 2 auf, die aus dichtgesintertem Pulvermaterial besteht, wobei das Pulvermaterial der Außenschale 2 aus mehreren Lagen Schlickerguß entstanden ist. Die äußerste Lage wurde mit Pulvermaterial aus äußerst kleinen Partikeln von weniger als 10 µm mittlerem Durchmesser hergestellt. Zum Innern hin folgen Schlickergußlagen aus Pulvern von zunehmender Vollpartikelgröße, die einen mittleren Partikeldurchmesser bis 500 µm aufweisen.

An die Außenschale 2 schließt sich ein poröser Kern 3 an. Dieser Kern 3 besteht aus gesinterten Hohlkugeln, die lagenweise geschichtet sind und zum Kernzentrum hin größer werdende kugelige oder polygonale Hohlräume ausbilden. Die sinterfähigen Hohlkugeln für das Kernmaterial werden mittels Schlickerguß lagenweise eingebracht, wobei die äußerste Lage des Kerns auf der Innenseite 4 der Außenschale 2 kleinere Hohlkugeldurchmesser aufweist, als das innerste Volumen 8, 9 des Kerns.

Je nach Flächenbelastung der Außenschale 2 werden kleinere (für hohe Flächenbelastung) oder große (für geringe Flächenbelastungen) Hohlkugeldurchmesser eingesetzt. So ist beispielsweise im Bereich der Kolbenbohrungen 5, 6 für die Aufnahme des Bolzens der Pleuelstange eine Außenschale mit einem engen Kernquerschnitt 7 vorgesehen und dieser enge Kernquerschnitt mit relativ kleinen Hohlkugeln aufgefüllt, um eine hohe Belastung aufnehmen zu können. Die großvolu-

migen Bereiche 8, 9 sind hingegen mit größeren Hohlkugeln ausgestattet, da hier die Belastung entsprechend geringer ist.

Die Struktur des Kerns 3 und der Außenschale 2 sind damit in Gewicht und Festigkeit genau an die Belastungen anpaßbar und jedes Volumen, das niedrigen Belastungen ausgesetzt ist, kann mit entsprechen größeren Materialporen ausgestattet werden.

Fig. 2a zeigt einen Abschnitt einer Turbinenschaufel 20, die aus Metall oder Keramik mit dichter Außenschale 21 und porösem Kern 23 besteht. Die Außenschale 21 ist aus dichtgesintertem Pulvermaterial aufgebaut und der Kern 23 besteht aus gesinterten Hohlkugeln 24, 25, 26 unterschiedlichen Durchmessers. Diese Hohlkugeln 24, 25, 26 sind lagenweise geschichtet und bilden zum Kernzentrum hin größer werdende kugelige oder polygonale Hohlräume. Die dichtgesinterten Hohlkugeln 24, 25, 26 stützen die mit 100 µm relativ dünne Außenschale 21, so daß hohe Flächenpressungen von der Außenschale 21 aufgenommen werden können. Die Zugfestigkeit des Schaufelblattes 22 wird durch Fasern 27 erhöht, die in Richtung der Zugbelastung zwischen den Hohlkugeln im Matrixmaterial eingelagert sind. Als Matrixmaterial wird feines sinterfähiges Vollpulvermaterial eingesetzt, das in seiner chemischen Zusammensetzung den Hohlkugeln entspricht oder deren Material in seiner Sinterfähigkeit verbessert.

Als Fasermaterialien werden bei metallischen Hohlkugeln und Matrixmaterial vorzugsweise Siliziumkarbidfasern oder Kohlenstofffasern eingesetzt. Bei Schaufelblättern aus Keramik werden vorzugsweise zwischen den Hohlkugeln in das chemisch gleichartige Matrixmaterial metallische Fasern eingelegt, so daß sich hohe Zugfestigkeit der Metalle mit hoher Temperaturfestigkeit der Keramik ergänzen.

Durch Verankerung der Fasern 27 im Schaufelfuß lassen sich vorteilhaft hochfeste, temperaturbeständige Turbinenschaufeln in Leichtbauweise realisieren.

Fig. 2b zeigt eine Turbinenschaufel 20 mit Schaufelblatt 30 und Schaufelfuß 31. Das Schaufelblatt besteht aus einer gesinterten Außenschale 32, die nur wenige 10 µm dick ist. Die Außenschale 32 wird durch einen Kern aus gesinterten Hohlkugeln 33 gestützt, so daß hohe Flächenpressungen auf die Außenschale 32 einwirken können. Darüberhinaus weist der Kern Fasern 34 auf, die entlang der höchsten Zugbelastung den gesinterten Kern aus Hohlkugeln durchziehen und im aus Vollpulvermaterial gesinterten Schaufelfuß 31 verankert sind.

Fig. 3 bis 5 zeigen prinzipielle Verfahrensschritte zur Herstellung von Bauteilen nach Fig. 1 oder Fig. 2. Dazu werden zunächst mehrere Schlickeransätze mit Wasser oder Alkohol und/oder darin löslichen Bindern sowohl mit Vollpulvern unterschiedlicher Partikelgröße als auch mit Hohlkugeln unterschiedlichen Durchmessers hergestellt. Als nächstes wird eine innere Außenschale 41, wie in Fig. 3 dargestellt, als Erstsicht mit hochsinterfähigem Vollpulver in einer Schlickerform hergestellt. Dazu kann Schlicker mit geringer Partikelgröße zur Ausbildung einer feinporigen Außenhaut und nach innen Schlickerschichten mit zunehmender Partikelgröße zur Ausbildung der Außenschale nacheinander eingesetzt werden.

Eine Schlickerform für diesen Schritt zeigt Fig. 3. Die Schlickerform ist in diesem Beispiel zweiteilig und besteht aus einem Außenzylinder 48 und einem Innenzylinder 49, wobei der Innenzylinder beim Einbringen der unterschiedlichen Schlickeransätze in den Zwischen-



raum zwischen Innen- und Außenzylinder für alle Schlickerlagen unverändert bleibt. Der Außenzylinder wird dagegen für jede Schlickerlage gewechselt, wobei der Innendurchmesser des Außenzylinders mit jedem Schritt in Richtung der Pfeile A in Fig. 4 vergrößert wird. Dadurch wird ermöglicht, daß sowohl die Pulverpartikel für die Außenschale 41 als auch die Hohlkugeln für den inneren Stützkern in ihren Durchmessern lagenweise anwachsen können.

Außen- und Innenzylinder weisen in diesem Beispiel an ihren unteren Enden Flansche 50, 51 auf, zwischen denen eine Ringdichtung 53 angeordnet ist. Die Ringdichtung dichtet den Zwischenraum zwischen den beiden Flanschen des Innen- und Außenzylinders ab. Der Außenzylinder kann aus einem semipermeablen Material gefertigt werden, was vorteilhaft eine schnelle Trocknung der Schlickerschicht begünstigt, ohne daß die Schlickerschicht an Vollpartikeln oder Hohlkugeln verarmt.

Nachdem beispielsweise die innere Außenschale 41 durch zwei Schlickerlagen, die eine äußere Schlickerlage mit Vollpartikeln eines mittleren Partikeldurchmessers zwischen 10 und 30  $\mu\text{m}$  und eine innere Schlickerlage mit Vollpartikeln eines mittleren Partikeldurchmessers zwischen 30 und 100  $\mu\text{m}$  umfaßt, mittels zwei Außenzylindern unterschiedlichen Durchmessers hergestellt ist, wird die erste Schlickerlage des Kernmaterials aufgebracht. Dazu wird der zweite Außenzylinder gegen einen dritten Außenzylinder mit entsprechend größerem Innendurchmesser ausgetauscht und der Zwischenraum zwischen der inneren Außenschale 41 und dem Außenzylinder mit einem Schlickeransatz mit Hohlkugeln eines mittleren Durchmessers von 100 bis 150  $\mu\text{m}$  aufgefüllt, so daß die erste Hohlkugelschlickerlage 42 gebildet wird.

Weitere Hohlkugelschlickerlagen 43, 44 mit zunehmendem mittleren Hohlkugeldurchmesser folgen, wie in Fig. 5 abgebildet. Die Hohlkugelschlickerlage 43 hat dabei einen mittleren Durchmesser von 1 bis 1,5 mm und die Hohlkugelschlickerlage 44 einen Hohlkugeldurchmesser von 3 bis 5 mm.

Anschließend werden Schlickerlagen in umgekehrter Reihenfolge mit abnehmenden Hohlkugeldurchmessern und abnehmenden Vollpartikeldurchmessern eingebracht, bis die äußere Außenschale 47 aufgebaut ist und ein topfförmiges Bauteil als Grünling hergestellt ist. Dieser topfförmige Grünling wird nun zu einem Leichtbauteil für hohe Flächenpressungen gebrannt und gesintert. Das Brennen erfolgt für Bauteile aus Eisen-Nickellegierungen unter Vakuum bei 450°C für 5 Stunden und das Sintern bei 1350°C für 15 Minuten im Vakuum.

Durch eine komplexere Formgebung der Schlickerform können mit diesem Verfahren die in Fig. 1 und 2 abgebildeten Bauteile gefertigt werden. Dabei kann das Verfahren dahingehend modifiziert werden, daß zwischen den Schlickergußlagen Fasern zur Verstärkung des Bauteils eingebracht werden. Auch können die Hohlräume zwischen den Hohlkugeln durch Vollpartikelmaterialien, die dem Schlickeransatz mit Hohlkugeln zugegeben werden, mit Matrixmaterial aufgefüllt werden. Es ist außerdem möglich, durch heißisostatisches Pressen des Grünlings die Hohlräume zwischen den Hohlkugeln ohne Zugabe von Vollpartikeln zu schließen. Dadurch entstehen im Kernbereich des Bauteils polygonale Hohlräume oder Poren bei minimalem Bauteilgewicht. Für Bauteile aus Eisen-Nickellegierungen erfolgt das heißisostatische Pressen bei einer Temperatur von 1350°C unter einem Druck von 1 MP für 1 Stun-

de in Inertgasatmosphäre, beispielsweise in Argon.

Weitere vorteilhafte Anwendungen für dieses Verfahren bilden die Herstellung von Maschinenteilen von Motor- und von Triebwerkskomponenten, wie Zahnräder, Rotorscheiben, Gehäusen, Ventilen, Düsenwänden oder Klappen. Die für diese Komponenten zu verarbeitenden Materialien sind neben Keramiken und faserverstärkten Keramiken vorzugsweise Eisen-, Titan-, Kobalt- oder Nickelbasislegierungen.

#### Patentansprüche

1. Bauteil aus Metall oder Keramik mit dichter Außenschale und porösem Kern, dadurch gekennzeichnet, daß die Außenschale (2, 21, 32) aus dichtgesintertem Pulvermaterial besteht und der Kern (3, 23) zur Aufnahme hoher Flächenpressungen der Außenschale (2, 21, 32) aus gesinterten Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) aufweist, die lagenweise geschichtet sind und zum Kernzentrum hin größer werdende kugelige oder polygonale Hohlräume ausbilden.
2. Bauteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß enge Kernquerschnitte (7) kleinere Hohlräume aufweisen als weite Kernquerschnitte (8, 9).
3. Bauteil nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlräume zwischen den Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) mit Material aufgefüllt sind.
4. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlräume zwischen den Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) mit gesintertem Material gefüllt sind.
5. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlräume zwischen den Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) Fasermaterial (27, 34) enthalten, das teilweise oder vollständig von Matrixmaterial umgeben ist.
6. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Pulvermaterial und die Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) aus Metall sind.
7. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Pulvermaterial und die Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) aus intermetallischen Verbindungen bestehen.
8. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Pulvermaterial und die Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) aus Keramik sind.
9. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialdichte von der Außenschale (2, 21, 32) zum Zentrum (8, 9) des Kerns (3, 23) hin von nahezu 100% auf bis zu 3% abnimmt und die Porosität entsprechend von annähernd 0% auf bis zu 97% anwächst.
10. Bauteil nach Anspruch 1 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) im Kern (3, 23) einen von Außen nach innen anwachsenden Innendurchmesser aufweisen, der zwischen 0, 01 und 10 mm, vorzugsweise zwischen 0,3 bis 5 mm liegt.
11. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus Metall oder Keramik mit dichter, geschlossener Außenschale und porösem Kern, gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte
  - a) Herstellen von Schlickern mit Wasser oder Alkohol und/oder Bindern in unterschiedlichen Ansätzen sowohl mit Vollpulvern unterschiedlicher Partikelgröße als auch mit Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) unterschiedlichen Durchmessers.

- b) Erzeugen einer Außenschale (2, 21, 32) als Erstschrift mit hochsinterfähigem Vollpulver in einer Schlickerform, wobei vorzugsweise Schlicker mit geringer Partikelgröße zur Ausbildung einer feinporigen Außenhaut und nach innen Schlickerschichten mit zunehmender Partikelgröße zur Ausbildung der Außenschale (2, 21, 32) eingesetzt werden, 5
- c) Erzeugen eines porösen Kerns (3, 23) mittels Schlickern aus Hohlkugeln, (24, 25, 26, 33) wobei weitere Schichten lagenweise aus Hohlkugel-Schlickern mit zunehmendem Kugeldurchmesser von Innen auf die Außenschale aufgebracht werden, 10
- d) Ausbrennen von Lösungsmitteln und Bindern und Sintern der Schlickerschichten ganz oder teilweise in der Schlickerform zu einem Bauteil 15
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung eines hohlen Bauteils mit dichter geschlossener Außenschale (2) und porösem Kern (3) zunächst eine innere Außenschale (41) als Erstschrift mit hochsinterfähigem Vollpulver in einer Schlickerform hergestellt wird, wobei vorzugsweise Schlicker mit geringer Partikelgröße zur Ausbildung einer feinporigen Außenhaut und nach innen Schlickerschichten mit zunehmender Partikelgröße zur Ausbildung der inneren Außenschale (41) eingesetzt werden und anschließend ein poröser Kern (42, 43, 44) erzeugt wird, wobei weitere Schichten lagenweise aus Hohlkugel-Schlickern mit zunächst zunehmendem und anschließend abnehmendem Kugeldurchmesser auf die innere Außenschale aufgebracht werden und schließlich eine äußere Außenschale (47) mit hochsinterfähigem Vollpulver erzeugt wird, wobei vorzugsweise Schlicker mit geringer Partikelgröße zur Ausbildung einer porenfreien Außenhaut und nach innen Schlickerschichten mit zunehmender Partikelgröße zur Ausbildung der Außenschale (47) mit nach innen zunehmender Porengröße eingesetzt werden. 20
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß Schlickeransätze als Gießmassen zum Eingießen in eine Schleudergußform hergestellt werden und unterschiedliche Schlickerlagen für eine äußere Außenschale (47) einen porösen Kern (42, 43, 44) aus Hohlkugeln und eine innere Außenschale (41) durch Schleuderguß in einer Schleudergußvorrichtung aufgebracht werden. 25
14. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß Schlickeransätze als spritzfähige, streichfähige oder spachtelfähige Massen hergestellt werden und unterschiedliche Schlickerlagen für eine innere Außenschale (41) einen porösen Kern (42, 43, 44) aus Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) und eine äußere Außenschale (47) auf eine formgebende Oberfläche mittels Streichen, Spritzen oder Spachteln aufgebracht werden. 30
15. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß unterschiedliche Schlickeransätze für die Außenschale (21) und den porösen Kern (23) aus Hohlkugeln (24, 25, 26) nacheinander in eine Schlickerform über eine Eingußöffnung gegossen werden und jeweils nach Anlegen einer Schlickerschicht an die inneren Oberflächen der Form die Reste der unterschiedlichen Schlickeransätze über die Eingußöffnung ausgebracht werden und abschließend die Eingußöffnung mit einer Folge von 35

unterschiedlichen Schlickergußlagen verschlossen wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Sinterschritt in einer Presse unter Druck bei Erweichungstemperatur der Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) zur Ausbildung von polygonen Hohlräumen oder Poren vorgenommen wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Einbringen jeder Schlickerlage ein Ausgasen von Lösungsmitteln erfolgt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Einbringen jeder Schlickerlage ein Ausbrennen von Bindern und ein Sinterschritt erfolgt.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Außenschale (2, 21, 32) durch Infiltration oder Aufbringen und Eindiffusion von Sintermaterial nachverdichtet wird.

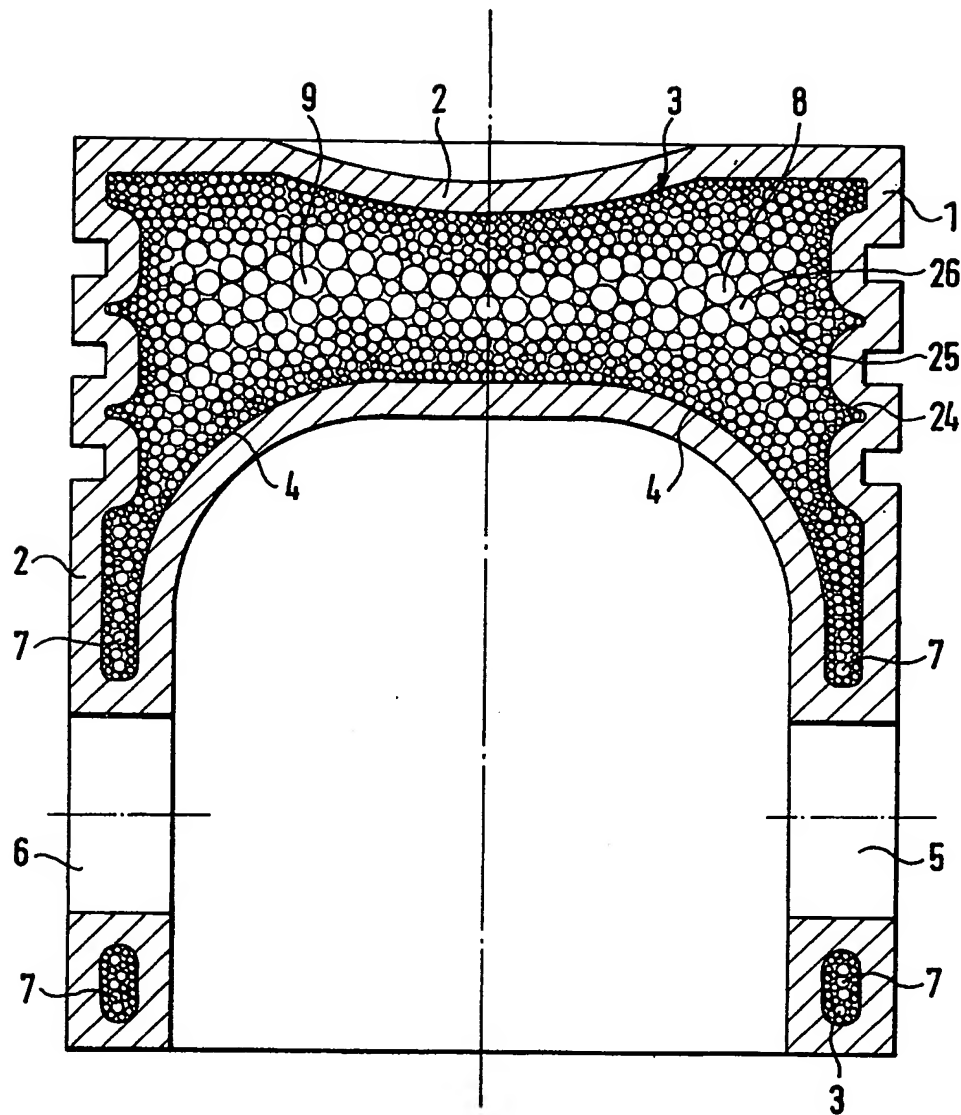
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Partikel und Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) den Schlickeransätzen teilweise aus metallischen Komponenten intermetallischer Verbindungen bestehen und der Sinterschritt bei Reaktionstemperaturen zur Ausbildung intermetallischer Verbindungen durchgeführt wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß Dauer und Temperatur des Sinterschritts dem sinterfähigen Material der Vollpartikel und Hohlkugeln (24, 25, 26, 33) des Schlickergusses angepaßt sind.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauteil (1, 20) nach dem Sintern oder beim Sintern heißisostatisch gepreßt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

FIG.1



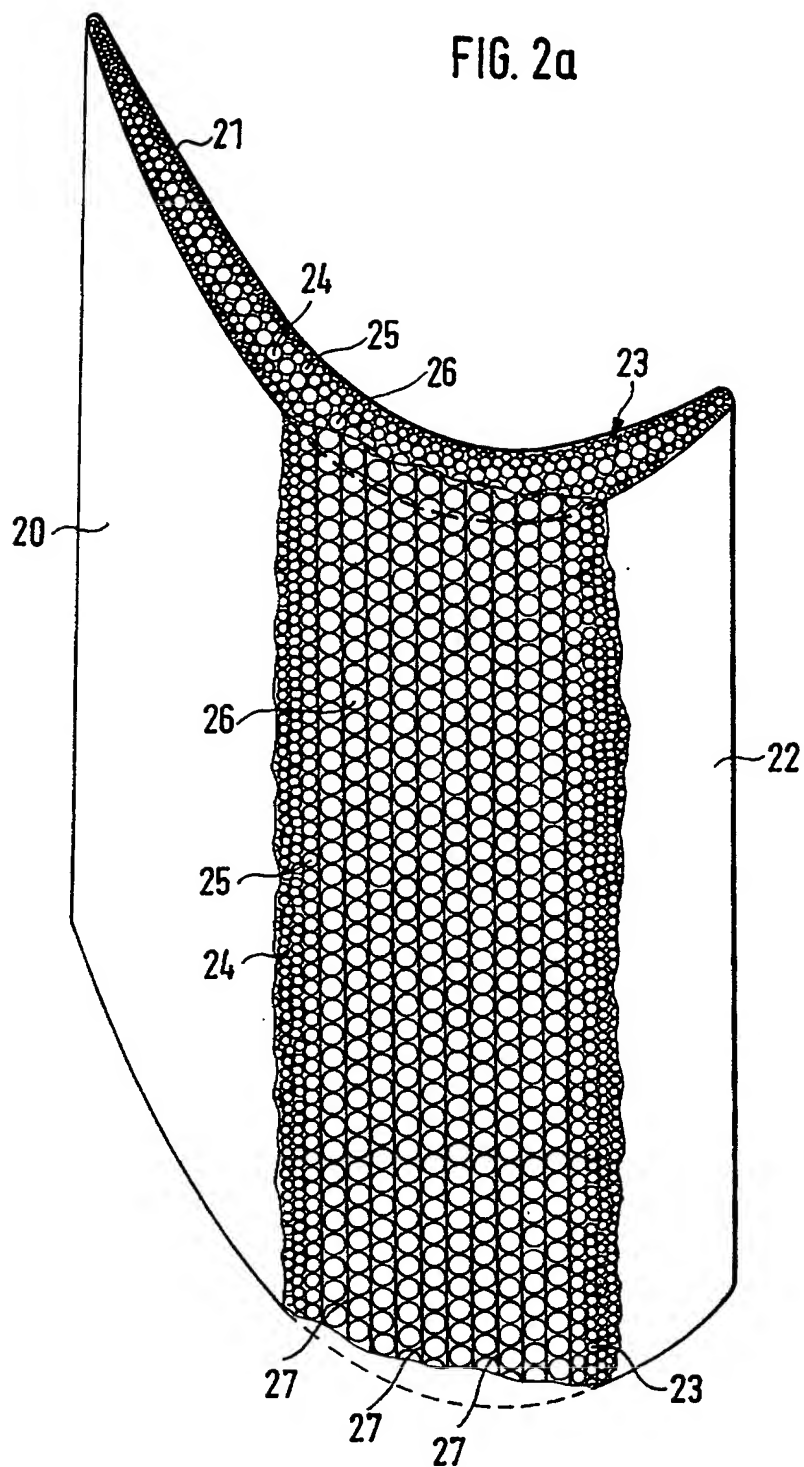
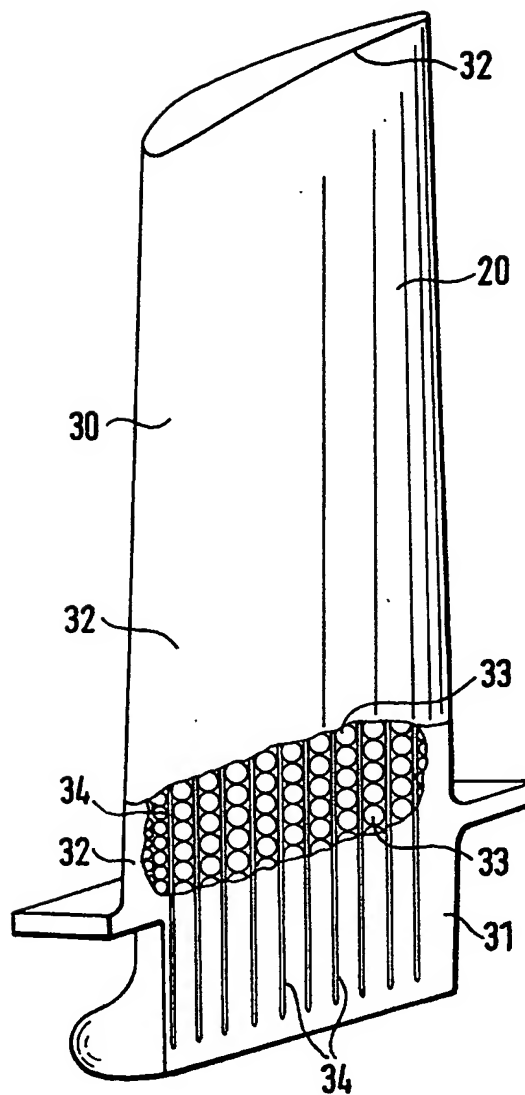
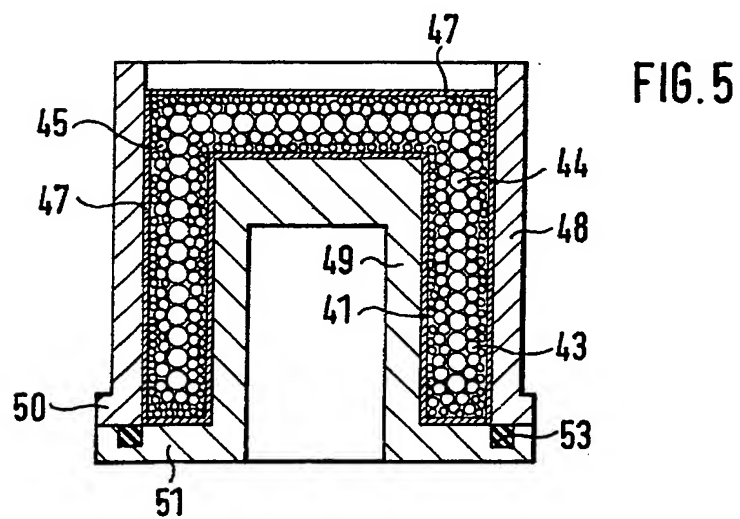
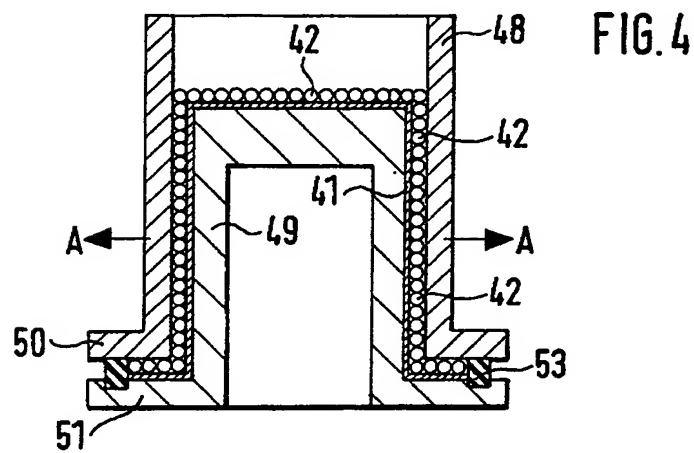
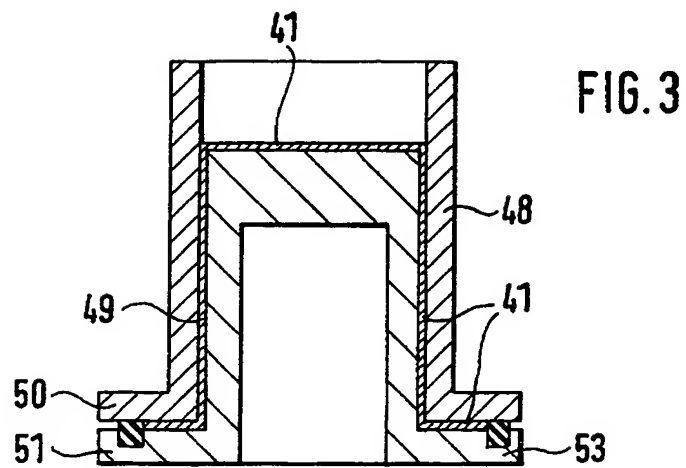


FIG. 2b





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**